Г.А. Калашник, М.А. Калашник-Рибалко

Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький

ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ КОМПЛЕКСУ БОРТОВОГО ОБЛАДНАННЯ СУЧАСНОГО ПОВІТРЯНОГО СУДНА

У статті представлено результати дослідження проблем забезпечення функціональної стійкості комплексу бортового обладнання сучасного повітряного судна в умовах дестабілізуючих впливів. Проаналізовано основні види відмов, зокрема загрози інформаційній безпеці комплексу бортового обладнання повітряного судна та можливі наслідки їх впливів на безпеку польоту. Розглянуто основні механізми, що дозволяють забезпечити функціональну стійкість комплексу бортового обладнання згідно розробленої стратегії. У статті запропоновано основні шляхи реалізації принципів функціональної стійкості щодо перспективного або автоматизованого не обслуговуваного людиною-оператором комплексу бортового обладнання.

Ключові слова: комплекс бортового обладнання, функціональна стійкість, дестабілізуючі фактори.

Вступ

Загальна постановка проблеми та зв'язок з практичними завданнями. Для підтримки необхідного рівня ефективної та безпечної експлуатації повітряного судна необхідно покращувати надійність його конструкції і систем бортового обладнання. Необхідність нарощування функціоналу комплексів бортового обладнання (КБО) сучасних повітряних суден (ПС) з одночасним зниженням їх вартості і експлуатаційних витрат, а також прагнення до глибокої інтеграції апаратних, програмних і алгоритмічних ресурсів визначили на сучасному етапі перспективні напрямки розвитку інтегрованої модульної авіоніки (ІМА), серед яких: 1) створення функціонально стійких інтелектуальних інтегрованих КБО з відкритою архітектурою із застосуванням перспективних високошвидкісних мережевих інтерфейсів, побудованих на базі розподіленої модульної електроніки з використанням віддалених концентраторів даних, контролерів живлення, електроніки, графіки, відео; 2) розробка і впровадження методів забезпечення функціональної стійкості КБО навіть при виникненні потоку відмов.

Головною особливістю функціонально стійких інтелектуальних інтегрованих КБО повинна бути можливість самодіагностування технічного стану, прогнозування відмов ще до їх виникнення і завчасне парировання наслідків відмов. Інтелектуалізація сучасних КБО насамперед повинна передбачати керування інформаційними потоками, їх своєчасну обробку і використання в інтересах забезпечення безпеки польотів і ефективності повітряних суден, підтримання їх функціональності в умовах різних дестабілізуючих впливів.

Таким чином, забезпечення функціональної стійкості комплексів бортового обладнання повітряних суден є частковим завданням вирішення про-

блеми забезпечення безпеки польотів і актуальним напрямком наукових досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вперше поняття властивості функціональної стійкості складних технічних систем було сформульовано професором Машковим О.А. [1], який розробив загальну стратегію забезпечення функціональної стійкості складних динамічних систем і науково-методичний апарат забезпечення ФС для бортових інформаційно-керуючих комплексів. У роботах послідовників школи функціональної стійкості професорів Барабаша О.В. [2], Кравченка Ю.В. [3], Неділька С.М. [4], Обідіна Д.М. [5] та ін. [6] були розроблені науково-методичні підходи забезпечення ФС для конкретних складних технічних систем. Нами було розроблено метод забезпечення ФС для ПНК літальних апаратів на окремих режимах польоту [7–9]. Але методи забезпечення функціональної стійкості КБО ПС в даний час не розроблені, до них можливо лише застосувати існуючі принципи забезпечення ФС складних динамічних систем [10–11]. Виходячи з цього, на сьогодні вирішення лише частково і перспективним науково-технічним завданням є розробка методів забезпечення функціональної стійкості КБО сучасного ПС.

Мета статті. Метою статті є визначення проблем забезпечення функціональної стійкості інтегрованого комплексу бортового обладнання сучасного повітряного судна та шляхів їх вирішення.

Основна частина

На сьогодні найбільш перспективним напрямком подальшого розвитку сучасних КБО є їх розробка з використанням принципу інтегрованої модульної авіоніки. Інтегровані комплекси бортового обладнання сучасного ПС характеризуються такими основними рисами [12–13]: 1) використанням єдиного обчислювального середовища (платформи);

2) об'єднанням в єдиний комплекс систем з різними фізичними принципами, які створюються різними галузями промисловості та повинні обслуговуватися фахівцями різних профілів; 3) численними взаємними зв'язками між системами, від функціонування яких залежить працездатність всього комплексу в цілому; 4) різноманітністю і інтенсивністю потоків інформації, що замикаються на бортову обчислювальну систему; 5) функції систем комплексу виконують програмні додатки, які використовують спільні обчислювальні й інформаційні ресурси; 6) необхідністю забезпечення ергономічних аспектів взаємодії льотного екіпажу з комплексом бортового обладнання.

Основні поняття та визначення функціональної стійкості щодо КБО ПС; обґрунтовані ознаки, показники, критерії, границі та запас функціональної стійкості, необхідна та достатня умови ФС КБО ПС представлені нами у роботі [11].

Згідно розробленої стратегії основні заходи забезпечення ФС КБО ПС повинні включати [10–11]: 1) введення на етапі проектування КБО оптимальної структурної, апаратної, програмної і часової надмірності; 2) забезпечення технічної та інформаційної надійності, можливості відновлення втраченої інформації і працездатності після ушкоджень, відмов, впливу дестабілізуючих факторів; 3) забезпечення живучості, електромагнітної цілісності, радіоелектронного та інформаційного захисту; 4) самодіагностування, своєчасне виявлення та ідентифікацію відмов; 5) парирування відмов з метою безперервного функціонування за рахунок більш повного використання наявних технічних ресурсів системи та активного їх перерозподілу для досягнення поставлених цілей.

Одним з ключових питань забезпечення ФС є розробка алгоритмів функціонування та засобів реалізації функціонально стійкого КБО з можливістю збереження працездатності критичних функцій за рахунок своєчасного виявлення, розпізнавання і парирування наслідків позаштатних ситуацій. Здійснення парирування наслідків позаштатних ситуацій полягає в формуванні та вплив на комплекс відновлювального управління, яке парирує наслідки відмов, збоїв, і інших дестабілізуючих внутрішніх і зовнішніх факторів. Це дозволить забезпечити максимально можливий рівень безпеки та ефективності завершення польоту або його подальшого виконання в разі виникнення потоку відмов.

Під нештатної ситуацією розуміється невідома раніше і не врахована подія, реакція на яку не передбачена і полягає в порушенні виконання заданого обсягу функцій певним елементом або групою елементів систем КБО. Причинами порушення функціонування можуть бути як внутрішні, так і зовнішні дестабілізуючі чинники.

Узагальнена функціональна архітектура КБО визначає функціональні компоненти комплексу та зв'язки між ними, розподіл функцій між елементами для підтримки загального функціонування КБО в умовах впливу дестабілізуючих факторів як зовнішніх, так і внутрішніх. Це вимагає розробки комплексної моделі функціонування КБО.

При початковому проектуванні КБО ПС визначається структура та функціональні залежності основних параметрів системи в цілому та параметрів функціональних комплексів, що повинні задовольняти обмеженням та вимогам. Загальна стратегія забезпечення функціональної стійкості КБО на етапі проектування складається в створенні необхідної надмірності і можливості її використання для виявлення, локалізації та парирування наслідків позаштатних ситуацій для забезпечення функціонування і вирішення функціональних завдань впродовж заданого інтервалу часу за умови впливу на неї потоку експлуатаційних відмов, навмисних пошкоджень, втручання в обмін і обробку інформації, а також у разі помилок екіпажу. Необхідна і достатня умова функціональної стійкості КБО ПС полягає в існуванні такого складу його елементів та зв'язків між ними, при якому комплекс обладнання здатний виконувати за любых умов мінімально необхідні функції за рахунок перерозподілу резерву з оптимальної надмірності для парирування наслідків позаштатних ситуацій.

На процес ефективного функціонування КБО ПС впливають відмови, нестійкі відмови, збої [11], навмисний вплив на фізичне середовище та ін. Необхідно визначити перелік можливих відмовних станів комплексу бортового обладнання, а також умов їх виникнення (табл. 1). Для захисту КБО від явних відмов використовується багаторазове резервування вхідних і вихідних ліній зв'язку, які сполучаються з обладнанням, дублювання обчислювальних та інформаційно-вимірювальних систем. В процесі експлуатації ПС найбільш небезпечними видами відмов є неявні, які здатні привести до аварійної ситуації в управлінні судном. Основні способи попередження таких відмов полягають в застосуванні діагностування з параметричним і модельним контролем всередині системи КБО.

Інформаційним проявом відмови або збою КБО є помилки обчислювального процесу, спотворення оброблюваної інформації, вплив вірусних програм, конфлікти програмного забезпечення, переповнення буфера даних; пошкодження пам'яті, атаки на маршрутизацію мережі і аналіз трафіку, штучний вплив на навколишнє середовище (радіоперешкоди, загроза наземним станціям, лазерні атаки), кібератаки (підмін даних ADS-B-In для відстеження для введення в оману ПС ADS-B-Out для відстеження судів; несанкціоноване дистанційне керування борто-

вим обладнанням та ін.). Все це вимагає реалізації механізмів забезпечення функціональної стійкості програмної і апаратної бази КБО ПС при виникнен-

ні загроз інформаційній безпеці. Вони можуть виникати на усіх стадіях обробки інформації.

Таблиця 1

Вплив деяких видів відмов системи управління безпекою польотів (СУБП) та КБО на безпеку польоту ПС

Вид відмови	Тип відмови	Наслідки відмов	Способи усунення відмови, що використовуються
Відмова інформаційно-вимірювальних систем	явна	Відсутність інформації щодо умов польоту і стану бортового обладнання. Неповні дані для оцінки загрози авіаційної події.	Резервування вхідних даних від інформаційно-вимірювальних систем. Вимкнення функції оцінки загрози авіаційної події за станом ПС.
	неявна	Хибна вхідна інформація до СУБП. Створення аварійної ситуації в польоті, дезінформування пілота.	Порівняння вхідних даних від різних інформаційно-вимірювальних систем.
Відмова вимірювача психофізичного стану членів екіпажу	явна	Відсутність інформації про психофізичний стан пілота, неповні дані для оцінки загрози авіаційного події.	Резервування вхідних даних щодо психофізичного стану екіпажу. Відключення функції оцінки загрози авіаційної події за психофізичним станом екіпажу.
	неявна	Хибна вхідна інформація до СУБП. Дезінформування пілота.	Порівняння вхідних даних від різних інформаційно-вимірювальних систем.
Відмова з'єднання з САУ	явна	Неможливо видати команду на реконфігурацію системи управління.	Резервування ліній зв'язку з САУ ПС
	неявна	Некоректне виконання функцій САУ.	Відмова визначається doubling effect-контролем СУБП в частині виданих команд з наступним відключенням з'єднання СУБП з САУ.
Відмова зв'язку з багатофункціональним індикатором, цифровою системою оповіщення	явна	Відсутність видачі даних в засоби індикації та оповіщення екіпажу.	Резервування ліній зв'язку СУБП із засобами індикації та оповіщення екіпажу.
	неявна	Невірна інформація в засобах оповіщення екіпажу.	Відмова визначається doubling effect-контролем СУБП за виданими командами з подальшим відключенням з'єднання СУБП від засобів індикації та оповіщення екіпажу.

Джерело: [14, С. 32].

Для діагностування функціонально стійких КБО ПС необхідна своєчасна інформація про відмову або збій вузла у всіх суміжних вузлах. Це дозволить своєчасно корегувати таблиці маршрутизації і пересилати інформацію через інші вузли. Нами проаналізовано наступні існуючі методи та моделі, які можливо використовувати при виявленні відмов у складних технічних системах, що здатні привести до виникнення нештатної ситуації на борту ПС: 1) методи, що використовують кількісні, якісні моделі та ретроспективні дані [15–17]); 2) метод використання орієнтовного графу для виявлення відхилень [18]; 3) метод використання дерева відмов [17; 22]; 4) моделі “здорового глузду” [17]; 4) експертні системи [20].

Аналіз зазначених методів попередження відмов у складних технічних системах показав наступні недоліки: 1) нездатність прогнозування відмови, а лише констатування факту її виникнення; 2) відсутність забезпечення оперативного парювання наслідків нештатної ситуації, викликаной впливом відмови.

Ці недоліки свого часу ініціювали розвиток нових методів та моделей прогнозування відмов та збоїв (роботи Большакова А.А., Карімова Р.Н., Чуєва Ю.В., Эйкхоффа П. та ін. [17–21]). В той же час ці методи та моделі також мають недоліки, які впливають на попередження відмов у КБО та виникнення нештатних ситуацій на борту повітряного судна, а саме: 1) недостатня точність оцінювання параметрів; 2) відсутність рекомендацій щодо усунення відмови (наслідків нештатної ситуації).

Новим кроком було створення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень сучасного ПС, що входить до складу комплексної системи управління, принцип дії якої базується на отриманні та оцінці даних використовуваного обладнання, дозволяє здійснити розпізнавання наявності аварійної ситуації в процесі пілотування судна, а також прогнозувати варіанти її розвитку і запобігання. Однак через відсутність моделювання розвитку небезпечної ситуації польоту ПС цей спосіб не забезпечує можливість точно оцінити ступінь настання катастрофи.

рофічної ситуації. Тільки застосування засобів прогнозування авіаційної події дозволить своєчасно визначити наявність загрози події з подальшим її усуненням.

Своєчасна ідентифікація стану польотної ситуації залежить від багатьох факторів: 1) від типу ситуації: нормальна ситуація, ускладнена ситуація, складна ситуація, аварійна ситуація, катастрофічна ситуація; 2) від етапу польоту: зліт, набір висоти, горизонтальний політ, зниження, посадка; 3) від умов експлуатації ПС: очікувані умови експлуатації, неочікувані умови експлуатації; 4) від швидкості прийняття інформації по каналах інформації: зоровому, слуховому, тактильному, вербальному, 5) від попереднього досвіду (професійні фактори (знання, навички, вміння, здобуті в процесі навчання; знання, навички, вміння, здобуті в процесі професійної діяльності), непрофесійні фактори (індивідуальні психофізіологічні якості, соціально-психофізіологічні якості пілота).

Тому в якості альтернативного варіанту підвищення безпеки польоту ПС в складі КБО ПС доцільно використовувати систему управління безпекою його польоту, яка включає [14]: 1) пристрій попередньої обробки інформації про внутрішні і зовнішні дестабілізуючі фактори (дані інформаційно-вимірювальних пристроїв комплексу бортового обладнання (дані зовнішніх і вбудованих засобів контролю функціонально значущих елементів, дані датчиків реєстрації параметрів польоту ПС дані зовнішніх і внутрішніх засобів контролю комплексу (бортові цифрові обчислювальні машини, дані вимірювань засобів контролю системи управління ПС), дані за станом екіпажу (датчик реакції зіниці, тензодатчики)); 2) пристрій підтримки прийняття рішень; 3) пристрій передачі даних, який формує сигнали для приладів індикації та оповіщення, а також при необхідності сигнали в системи управління ПС (пристрої сигналізації та оповіщення, багатофункціональний індикатор, мовний інформаційний транслятор і ін.). Це вимагає: 1) розпізнавання, прогнозування і усунення небезпечних поєднань чинників з урахуванням стану ПС, екіпажу і навколишнього оточення; 2) безперервного надання екіпажу цілісного образу навколишнього оточення, 3) надання рекомендацій екіпажу ПС і автоматичного виконання дій по виходу з особливих польотних ситуацій, зниження їх небезпеки або запобігання, формування оптимальної траєкторії польоту.

У питаннях своєчасного надання інформації щодо стану польотної ситуації ключовою проблемою є оптимальне представлення різномірної інформації, яка якнайшвидше сприймається з використанням слухових, зорових і відчутних рецепторів, з урахуванням психофізіологічного стану екіпажу. Рішення цієї проблеми може бути у інтелектуальній

взаємодії в контурі пілот – ПС та наданні людиномашинному інтерфейсу КБО нових властивостей, заснованих на інтеграції ситуаційної обізнаності та виробленні рекомендацій на основі аналізу безлічі чинників польоту. У такій ситуації найбільш прийнятною для комплексу бортового обладнання ПС є організація самодіагностування елементів його структури на базі використання ймовірнісного (блукаючого [7; 21]) ядра.

Діагностичне ядро КБО ПС представимо як комплекс апаратних і програмних засобів, які виконують тестові перевірки, аналізують результати перевірок всіх елементів комплексу та видають результати контролю та діагностування споживачу (оператору). Розподілену базу знань (РБЗ) КБО ПС представимо у вигляді сукупності пов'язаних між собою інтелектуальних (інформаційних) модулів. Математичну модель КБО ПС, представимо на основі описі елементів структури за допомогою орієнтованого графа і представлену у вигляді розподіленої інтелектуальної системи виду:

$$G(V, L), V = \{v_i\}, L = \{l_{ij}\}, i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

В ній множина вершин V графа $G(V, L)$ відповідає множині інформаційних (інтелектуальних) модулів КБО розмірністю n , а множина ребер L – множині зв'язків l_{ij} між інформаційними модулями (i, j) . Дана модель, на відміну від існуючих, враховує випадкову структуру верифікаційних зв'язків між модулями системи, дозволяє виконувати перевірки окремих модулів КБО ПС з боку інших суміжних модулів у випадковий момент часу. Це дозволяє представити загальну діагностичну модель РБЗ КБО ПС у вигляді орієнтованого графа $G(V, L)$, множина вершин якого $V = \{v_i\}$ відповідає модулям РБЗ системи КБО, а орієнтовані ребра $L = \{v_i, v_j\}$ – елементарним перевіркам між інтелектуальними модулями.

Якщо діагностична модель РБЗ КБО ПС будується за принципом ймовірнісного (блукаючого) діагностичного ядра [21], то такий підхід враховує випадкову структуру діагностичних зв'язків; накопичення діагностичної інформації в пам'яті елементів КБО; визначення достатності діагностичної інформації для її аналізу; дешифрування діагностичної інформації для визначення стану елементів комплексу.

Верифікація РБЗ комплексу бортового обладнання ПС являє собою процес визначення відповідності модулів структури специфікаціям, що описують процеси під час його функціонування, шляхом організації тестового діагностування на базі ймовірнісного діагностичного ядра. У штатному режимі

КБО ПС виконує призначені йому функції і постійно контролює стан елементів системи. Верифікація за принципом ймовірного діагностичного ядра розподіленої бази знань КБО ПС включає послідовне виконання таких процедур: 1) вибір пари модулів для перевірки у системі випадковим чином у випадкові моменти часу; 2) пересилка одержаних результатів перевірок елементів структури верифікаційних зв'язків КБО ПС тільки коректним модулям;

3) накопичення діагностичної інформації у пам'яті всіх модулів; 4) визначення ознак достатності накопиченої верифікаційної інформації для її аналізу; 5) дешифрування діагностичної інформації та локалізація відмови на базі аналізу верифікаційної інформації; 6) парирування відмов шляхом відновлення розподіленої системи КБО ПС без значної перебудови засобів верифікації (рис. 1).

Рис. 1. Метод відновлення розподіленої системи комплексу бортового обладнання повітряного судна без значної перебудови засобів верифікації

Джерело: розроблено авторами.

Таким чином, програмні і апаратні засоби у функціонально стійкого КБО ПС наділяються можливістю активного динамічного перерозподілу ресурсів для відновлення і досягнення поставлених цілей функціонування комплексу.

Висновки та перспективи подальшого розвитку у визначеному напрямку

В роботі досліджені основні проблеми забезпечення функціональної стійкості КБО сучасних ПС та визначені шляхи та механізми їх вирішення, зокрема:

1. Для реалізації принципу функціональної стійкості на етапі проектування КБО необхідно: 1) визначити необхідні види оптимальної структурної і апаратної надмірності, визначити необхідну кількість складових елементів системи комплексу, їх розташування і дій в часі; 2) забезпечити програмну надмірність, яка дозволить системі КБО функціонувати в умовах нештатних і аварійних ситуацій; 3) забезпечити можливість перерозподілу інформаційних, обчислювальних, структурних, енергетичних ресурсів системи КБО на конструктивно-технологічному рівні.

2. Реалізація концепції забезпечення функціо-

нальної стійкості КБО ПС вимагає розробки нових алгоритмів автоматичного самодіагностування, своєчасного прогнозування стану, що передують появі відмови; забезпечення локалізації в реальному режимі часу пошкоджених елементів, які відмовили або некоректно функціонують, парирування можливих наслідків відмов шляхом динамічного перерозподілу ресурсів для відновлення і досягнення поставлених цілей функціонування КБО.

3. Механізми забезпечення ФС КБО ПС повинні включати також заходи, що здатні здійснювати як активну, так і пасивну протидію кіберзагрозам порушення працездатності як КБО в цілому так і його окремих елементів та протистояти можливому штучному впливу на оточуюче фізичне середовище.

4. Загальна задача синтезу функціонально стійкого КБО повинна ділитись на окремі завдання: синтез алгоритму виявлення відмов і синтез алгоритму парирування можливих наслідків відмов.

Вирішення зазначених завдань дозволить забез-

печити функціональну стійкість інтегрованого комплексу бортового обладнання з керованою надмірністю і властивостями парирування наслідків відмов тим самим підвищити рівень безпеки польотів.

Найбільш перспективним напрямком подальших досліджень є розробка технологій створення автоматизованого необслуговуваного людиною оператором функціонально стійкого КБО ПС. Основними властивостями такого функціонально стійкого комплексу бортового обладнання ПС повинні бути: 1) наділення програмних і апаратних засобів можливістю активного динамічного перерозподілу ресурсів для відновлення функціонування КБО; 2) наявність активної системи самодіагностики, яка дозволяє своєчасно прогнозувати можливість появи відмови і запобігати її розвитку; 3) можливість своєчасного парирування наслідків відмов шляхом зміни структури комплексу за рахунок існуючого оптимального ресурсу без значної перебудови засобів верифікації.

Список літератури

1. Машков О. А. О функциональной устойчивости бортовых информационно-управляющих комплексов. Вопросы повышения эффективности и качества систем управления полетом и навигации воздушных судов : монография. Київ : КИИГА, 1990. С 79-83.
2. Барабаш О. В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем : монография. Київ : НАУ, 2004. 226 с.
3. Кравченко Ю. В., Барабаш О. В. Функціональна стійкість – властивість складних ТС. *Труди академії*. Київ : НАОУ, 2002. № 40. С. 225-228.
4. Неділько С. М. Основи теорії функціональної стійкості автоматизованої системи управління повітряним рухом : монографія. Кіровоград : ДЛАУ, 2011. 220 с.
5. Обідін Д. М. Математична формалізація функціональної стійкості процесів управління літальними апаратами. *Системи озброєння і військова техніка*. 2014. № 1 (37). С. 179-182.
6. Калашник Г. А. Обідін Д. М., Калашник М. А. Забезпечення стійкого функціонування засобів навігації літальних апаратів під впливом зовнішніх дестабілізуючих факторів. *Системи обробки інформації*. 2016. № 3(140). С. 52-56.
7. Калашник М. А., Обидин Д. Н. Постановка задачи обеспечения функциональной устойчивости пилотажно-навигационного комплекса летательного аппарата на отдельных режимах полета. *Системы управления, навигации та зв'язку*. 2015. Вип. 4 (36). С. 27-30.
8. Калашник М. А., Калашник-Рибалко М. А. Механізми забезпечення сталого функціонування засобів навігації літальних апаратів в умовах деструктивного впливу. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2016. Вип. 2(38). С. 3-8.
9. Калашник Г. А., Калашник-Рибалко М. А. Основні заходи щодо забезпечення ефективного функціонування систем управління, зв'язку та навігації в умовах впливу деструктивних геліогеофізичних збурень. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних сил України*. 2018. № 1(30). С. 92-98. <https://doi.org/10.30748/nitps.2018.30.13>.
10. Калашник Г. А., Калашник-Рибалко М. А. Результати дослідження ефективності функціонування комплексу бортового обладнання літака DA-42 за показниками функціональної стійкості під впливом дестабілізуючих факторів. *Системи обробки інформації*. 2020. № 4(163). С. 27-36. <https://doi.org/10.30748/soi.2020.163.03>.
11. Калашник-Рибалко М. А., Калашник Г. А. Удосконалення методу синтезу оптимально розподіленої структури інтегрованого комплексу бортового обладнання літального апарата за показниками функціональної стійкості. *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних сил України*. 2021. № 1(42). С. 41-49. <https://doi.org/10.30748/nitps.2021.42.05>.
12. Желтов С. Ю. Косьянчук В. В., Зыбин Е. Ю. Перспективы развития комплексов бортового оборудования воздушных судов гражданской авиации. *Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества* : сб. тезисов докл. Межд. науч.-техн. конф., Москва, 16-17 мая 2018 г. Москва : ИД Академии Жуковского, 2018. С. 5-6.
13. Чуянов Г. А. Косьянчук В. В., Сельвесюк Н. И. Перспективы развития комплексов бортового оборудования на базе интегрированной модульной авионики. *Изв. ЮФУ. Технические науки*. 2013. № 3(140). С. 55-62.
14. Кулик А. А. Исследование взаимодействия системы управления безопасностью полета с комплексом бортового оборудования воздушного судна. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика*. 2019. № 4. С. 28-36. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2019-4-28-36>.
15. Frank P. M., Ding S. X., Marcu T. Model-based fault diagnosis in technical processes. *Automatica*. First Published March 1, 2000. Research Article. <https://doi.org/10.1177/014233120002200104>.
16. Isermann R. Model-based fault-detection and diagnosis – status and applications. *Annual Reviews in control* 2005. 29. P. 71-85.
17. Venkatasubramanian V. A., Rengaswamy R., Kavuri S. N., Yin K. A review of process fault detection and diagnosis – Part III: Process history based methods. *Computers and Chemical Engineering*. 2003. 27(3). P. 327-346.

18. Chung Chien Chang, Cheng Ching Yu. On-line fault diagnosis using the signed directed graph. *Industrial Engineering Chemical Research*, 1990. 29. P. 1290-1299.
19. Stamatelatos M., Caraballo J., Vesley W. *Fault Tree Handbook with Aerospace Applications*. Washington : NASA, 2002. 218 p.
20. Kramer M. A. Malfunction diagnosis using quantitative models with non-Boolean reasoning in expert systems. *AIChE J.* 1987. 33. P. 130-140.
21. Машков В. А., Барабаш О. В. Самоконтроль и самодиагностирование модульных систем по принципу блуждающего диагностического ядра. *Электронное моделирование*. Киев : НАН Украины, 1997. Т. 19. № 1. С. 41-49.

Надійшла до редколегії 01.06.2021

Схвалена до друку 13.07.2021

Відомості про авторів:

Калашник Ганна Анатоліївна

доктор геологічних наук
старший науковий співробітник
професор кафедри Льотної академії
Національного авіаційного університету,
Кропивницький, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-9581-9865>

Калашник-Рибалко Мирослава Анатоліївна

кандидат технічних наук
старший викладач Льотної академії
Національного авіаційного університету,
Кропивницький, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-0997-9609>

Information about the authors:

Ganna Kalashnyk

Doctor of Geological Sciences
Senior Research
Professor of Department of Flight Academy
of National Aviation University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-9581-9865>

Myroslava Kalashnyk-Rybalko

Candidate of Technical Sciences,
Senior Instructor of Flight Academy
of National Aviation University,
Kropyvnytskyi, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0997-9609>

**ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ КОМПЛЕКСА БОРТОВОГО
ОБОРУДОВАНИЯ СОВРЕМЕННОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА**

А.А. Калашник, М.А. Калашник-Рыбалко

В статье представлены результаты исследования проблем обеспечения функциональной устойчивости комплекса бортового оборудования современного воздушного судна в условиях дестабилизирующих воздействий. Проанализированы основные виды отказов комплекса бортового оборудования воздушного судна, включая угрозы информационной безопасности, и возможные последствия их влияния на безопасность полетов. Рассмотрены основные механизмы, позволяющие обеспечить функциональную устойчивость комплекса бортового оборудования, согласно разработанной стратегии. В статье предложены основные пути реализации принципов функциональной устойчивости перспективно-автоматизированного не обслуживаемого человеком-оператором комплекса бортового оборудования.

Ключевые слова: комплекс бортового оборудования, функциональная устойчивость, дестабилизирующие факторы.

**PROBLEMS OF PROVISION OF FUNCTIONAL STABILITY OF ONBOARD EQUIPMENT COMPLEX
OF MODERN AIRCRAFT**

G. Kalashnyk, M. Kalashnyk-Rybalko

The article presents the results of the research of problems of provision of functional stability of onboard equipment complex of modern aircraft under conditions of destabilizing factors. The analysis and assessment of internal and external factors influencing the process of functioning of the onboard equipment complex is carried out. The main types of failures of an aircraft onboard equipment complex are analyzed, including threats to information security, the impact of failure situations on the stability of the onboard equipment complex operation and on flight safety. The existing methods of identification of emergency situations in aviation complexes are analyzed and, based on the analysis results, the ways of their improvement on the basis of functionally stable aircraft onboard equipment complex are presented. It is proposed to implement the realization of the principles of functional stability in two stages - at the design stage by creating a distributed redundant onboard equipment complex structure and at the operation stage by developing and implementing effective methods for detecting failures and restoring the functioning of the complex. The article poses an urgent scientific problem of developing a methodology for provision of the functional stability of a promising automated onboard equipment complex not serviced by a human operator. Within the framework of the formulated scientific problem, particular research tasks are set to provide the functional stability of the aircraft onboard equipment complex at the design and operation stages. The article substantiates the main mechanisms that allow to ensure the functional stability of onboard equipment complex of modern aircraft, in accordance with the developed strategy for the implementation of the principles of functional stability of complex dynamic technical systems.

Keywords: aircraft equipment complex, functional stability, destabilizing factors.